

⑤

Int. Cl.:

H 01 g

EXPRESS MAIL NO. EV335613713US

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



⑤2

Deutsche Kl.: 21 g, 10/03

⑩

⑪

②①

②2

④4

# Auslegeschrift 1 301 861

Aktenzeichen: P 13 01 861.6-33 (St 25611)

Anmeldetag: 7. Juli 1966

Auslegetag: 28. August 1969

Ausstellungspriorität: —

③0

Unionspriorität

③2

Datum: —

③3

Land: —

③1

Aktenzeichen: —

⑤4

Bezeichnung: Schaltungsanordnung für einen ungepolten Festelektrolytkondensator

⑥1

Zusatz zu: —

⑥2

Ausscheidung aus: —

⑦1

Anmelder: Standard Elektrik Lorenz AG, 7000 Stuttgart-Zuffenhausen

Vertreter: —

⑦2

Als Erfinder benannt: Nessensohn, Alois, 7530 Pforzheim

⑤5

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

—

TOO TACT 17

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung für einen ungepolten Festelektrolytkondensator, der aus zwei gegenpolig in Reihe geschalteten gepolten Einzelkondensatoren, insbesondere Tantalelektrolytkondensatoren, besteht, an dem außer der Signalwechselspannung eine wertmäßig höhere Gleichspannung liegt.

Zunächst sollen noch einmal zur Klarstellung der Probleme die Verhältnisse bei einem Elektrolytkondensator betrachtet werden und das unterschiedliche Verhalten der sogenannten Festelektrolytkondensatoren gegenüber den üblichen Elektrolytkondensatoren herausgestellt werden.

Üblicherweise werden heute Elektrolytkondensatoren der sogenannten halbtrockenen Ausführung verwendet. Diese weisen folgenden Aufbau auf: eine Aluminiumfolie als Anode, auf die eine Aluminiumoxydschicht als Dielektrum aufgebracht ist, eine Elektrolytflüssigkeit, die in den Poren von Papierfolien gehalten wird, und eine Aluminiumfolie als Kathode. Ein Elektrolytkondensator dieses Aufbaues arbeitet nur ordnungsgemäß, wenn an der mit der formierten Aluminiumoxydschicht versehenen Folie der Pluspol und an der blanken Folie der Minuspol anliegt. Bei umgekehrter Polung entsteht ein elektrolytischer Prozeß, und die glatte Folie überzieht sich hierbei in gleicher Weise wie die formierte mit einer Dielektrikumschicht. Wenn man dabei davon absieht, daß durch die hierbei auftretende innere Erwärmung und Gasbildung eine Zerstörung des Kondensators erfolgen kann, wird durch die Bildung einer zweiten mit zunehmender Oxydschicht immer kleiner werdenden Kapazität an der Kathode, die mit der Anodenkapazität in Reihe liegt, die resultierende Gesamtkapazität erheblich verringert werden.

Für alle Fälle, bei denen die Polarität der angelegten Spannung im Betrieb wechseln kann bzw. sich die Polarität der angelegten Spannung sich nicht vorher festlegen läßt, gibt es den ungepolten Elektrolytkondensator. Bei ihm ist außer der Anodenfolie auch die Kathodenfolie bereits fertigungsmäßig formiert und zu einer Kathodenkapazität gleicher Größe wie die Anodenkapazität ausgebildet. Wegen der Hintereinanderschaltung der beiden gleichen Teilkapazitäten beträgt die Gesamtkapazität nur die Hälfte der Einzelkapazitäten. Ein ungepolter Elektrolytkondensator benötigt daher gegenüber einem gepolten bei gleicher Gesamtkapazität und sonst gleichen Aufbauverhältnissen etwa das doppelte Volumen.

Bei angelegter Gleichspannung fließt durch einen Elektrolytkondensator ein dauernder geringer Strom, der sogenannte Reststrom, der durch den endlichen Widerstand des Dielektrikums bedingt und auch zur Aufrechterhaltung des Dielektrikums notwendig ist. Bei den beschriebenen halbtrockenen Elektrolytkondensatoren ist die Größe des Reststromes im Betrieb zeitabhängig. Sofort nach dem Anlegen der Betriebsspannung kann er, besonders wenn eine längere Betriebspause vorangegangen ist, verhältnismäßig groß sein, klingt dann aber mit zunehmender Anschaltdauer rasch ab und erreicht schließlich einen konstant bleibenden Endwert.

Allgemein ist bei Elektrolytkondensatoren der Reststrom auch von der angelegten Spannung abhängig. Er steigt mit zunehmender Spannung exponentiell an. Bis zur Nennspannung des Kondensators verläuft der Anstieg des Reststromes verhältnismäßig

flach, um zwischen Nenn- und Spitzenspannung dann stärker anzusteigen. Oberhalb der Spitzenspannung folgt dann ein sehr steiler Verlauf. Entsprechend ist auch der Reststrom von der Temperatur abhängig. Er steigt mit zunehmender Temperatur an und hat bei  $+60^{\circ}\text{C}$  etwa den fünffachen, bei  $+70^{\circ}\text{C}$  etwa den siebenfachen Wert wie bei  $+20^{\circ}\text{C}$ . Bei ungepolten Elektrolytkondensatoren muß der Reststrom der Anodenkapazität über das Dielektrum der Kathodenkapazität in Durchlaßrichtung fließen. Bei etwaigen Fehlstellen in diesem Dielektrum findet bei halbtrockenen Elektrolytkondensatoren, wie bereits angedeutet, eine Nachformierung statt.

Im letzten Jahrzehnt ist nun eine andere Art von Elektrolytkondensatoren bekanntgeworden und findet stetig zunehmend Verwendung, die sogenannten Festelektrolytkondensatoren. Als Anodenmaterial solcher Kondensatoren ist bisher Tantal, Titan, Niob und Aluminium verwendet worden, wobei aber auch der Einsatz einer Reihe anderer Elemente möglich ist. Beim Tantalkondensator bildet das Tantal die Anode, Tantaloxyd ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) das Dielektrum und Mangandioxyd ( $\text{MnO}_2$ ) die Kathode. Die Festelektrolytkondensatoren mit anderen Grundmaterialien haben entsprechenden Aufbau. Bei diesen Festelektrolytkondensatoren hat die angelegte Gleichspannung keine zusätzlichen Polarisationsrandschichten, wie sie in flüssigen bzw. halbtrockenen Elektrolytkondensatoren auftreten, zur Folge. Da auch die Oxydschichten sehr stabil sind, hat die Gleichstromvorbelastung kapazitätsmäßig keinen Einfluß. Die Voraussetzung für eine formierte bzw. formierbare Elektrode für den Aufbau ungepolter Kondensatoren ist nicht gegeben. Diese Kondensatoren weisen in Sperr- bzw. Durchlaßrichtung das Verhalten einer Sperrschichtdiode auf, was durch Arbeiten von Y. Sasaki »p-i-n junction in the anodic oxide film of tantalum«, Int. J. Phys. & Chem. of Solids, Bd. 13 (1961), S. 177 bis 182, dadurch erklärt wurde, daß sich auf dem Grundmaterial zunächst eine sehr dünne n-Schicht aufbaut, darüber liegen nahezu stöchiometrische i-Schichten, auf die dann wieder eine dünne p-Schicht folgt. Die Dicke der eigenleitenden Schicht ist der Formierspannung proportional, während die n- und die p-Schicht unabhängig von der Formierspannung etwa  $2 \dots 5 \mu\text{m}$  dick sind. Die Donatoren sind überschüssige Tantalatome, während als Akzeptoren überschüssige Sauerstoffatome sowie in der Oxydschicht absorbierte  $\text{O}_2$ -Moleküle wirken.

Wie bereits ausgeführt wurde, lassen sich ungepolte Festelektrolytkondensatoren nicht als einheitlicher Kondensatorwickel wie bei den feuchten und halbtrockenen Elektrolytkondensatoren realisieren. Nun wurden aber in den Anfängen der feuchten Elektrolytkondensatoren ungepolte Typen dadurch realisiert, daß zwei gepolte Kondensatoren gegenpolig in Reihe geschaltet wurden. Die gleiche Maßnahme muß bei Festelektrolytkondensatoren nun auch durchgeführt werden. So erhaltene ungepolte Festelektrolytkondensatoren weisen aber gegenüber ungepolten eine erheblich verminderte Lebensdauer auf, eine Erscheinung, die von den feuchten und halbtrockenen Typen nicht bekannt und zunächst nicht zu erklären ist.

Die Erfindung setzt sich nur die Aufgabe, diese Lebensdauerverringerung zu beseitigen bzw. sie wenigstens erheblich zu verringern. Ausgehend von

den vorhergehenden Ausführungen über die bekannten Eigenschaften von Festelektrolytkondensatoren, wurde festgestellt, daß bei diesen Kondensatoren nicht mit einer gleichmäßigen Verteilung der Donatoren und Akzeptoren über die ganze wirksame Kondensatorfläche gerechnet werden darf. Es gibt dabei ausgesprochene Häufungs- und Mangelstellen. Hierdurch wird bewirkt, daß sowohl der Reststrom im wesentlichen von einer Anzahl von inselförmigen Stellen geliefert wird, aber auch bei dem in Durchlaßrichtung gepolten Kondensator ebenso praktisch nur von einer Anzahl solcher Inseln aufgenommen wird. Dieses führt in Durchlaßrichtung trotz des verhältnismäßig sehr geringen Absolutbetrages des Reststromes zu einer verhältnismäßig hohen Stromdichte in diesen Inseln. Hierdurch können Schädigungen der Sperrschicht auftreten, die nicht nur zu einer Verringerung der Lebensdauer, sondern in ungünstig gelagerten Fällen sogar zum Durchschlag führen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird eine Schaltungsanordnung für einen ungepolten Festelektrolytkondensator, bestehend aus zwei gegenpolig in Reihe geschalteten gepolten Einzelkondensatoren, insbesondere Tantalelektrolytkondensatoren, und bei der zum Schutze der Sperrschicht des jeweils für die Gleichspannung in Durchlaßrichtung gepolten Kondensators gegen den Restgleichstrom des in Sperrrichtung gepolten Kondensators durch richtungsabhängigen Nebenschluß jeder der beiden Kondensatoren C2, C3 durch je eine Diode D2, D3 mit gleicher Durchlaßrichtung überbrückt ist, eingesetzt, wie sie in »Electronic Design« vom 22. November 1965 auf S. 64 und 65 beschrieben ist.

Die Erfindung stellt sich nun zur Aufgabe, für eine solche Schaltungsanordnung weitergehende Dimensionierungsvorschriften anzugeben. Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß diese Dioden so gewählt werden, daß in Sperrrichtung ihr Sperrstrom bei der anliegenden Betriebsspannung klein gegen den Reststrom des durch sie überbrückten Kondensators und daß in Durchlaßrichtung ihr Durchlaßwiderstand klein gegenüber dem Durchlaßwiderstand des durch sie überbrückten Kondensators ist, wobei maximal zulässige Sperrspannung bzw. Durchlaßstrom größer als die anliegende Betriebsspannung bzw. auftretender Strom gewählt wird.

Die Erfindung soll nun an Hand der Figuren eingehend beschrieben werden. Es zeigt dabei

Fig. 1 den an einem Festelektrolytkondensator auftretenden Spannungsabfall, wenn er in Durchlaßrichtung mit Strömen zwischen 0,1 und 2 mA beaufschlagt wird, sowie die Wirkung von Überbrückungsdioden,

Fig. 2 die hierfür benutzten Meßschaltungen,

Fig. 3 den erfindungsgemäßen ungepolten Festelektrolytkondensator, eingesetzt als Koppelkondensator in einer Verstärkerschaltung.

Zunächst soll einmal betrachtet werden, mit welchen Restströmen man bei Festelektrolytkondensatoren überhaupt zu rechnen hat. Bei den heute wohl hauptsächlich verwendeten Tantalkondensatoren wird z. B. in den Datenblättern für Raumtemperatur etwa  $0,02 \mu\text{A}$  je  $\mu\text{F}$  Kapazität und Volt Nennspannung des Kondensators angegeben, wobei in bekannter Weise bei Beaufschlagung mit unter der Nennspannung liegenden Betriebsspannungen (sogenannten Derating) der Reststrom exponentiell abnimmt. Bei

einem Tantalkondensator von  $500 \mu\text{F}$  muß man also bei einer Nenn- und Betriebsspannung von 30 V bei Raumtemperatur mit etwa 0,3 mA Reststrom rechnen. Restströme zwischen 0,1 und 1 mA liegen also bei Kondensatoren mit großen Kapazitätswerten durchaus im üblichen Arbeitsbereich und müssen, wenn ein ungepolter Festelektrolytkondensator aus der gegenpoligen Reihenschaltung zweier gepolter Kondensatoren aufgebaut wird, von dem in Durchlaßrichtung gepolten Kondensator aufgenommen werden. In Fig. 1 ist ein Diagramm dargestellt, dessen Kurve *a* die Spannung über einen in Durchlaßrichtung gepolten Festelektrolytkondensator in Abhängigkeit vom durchfließenden Strom im Bereich von 0,1...2 mA zeigt. Fig. 2a zeigt dabei die zugehörige Meßschaltung. Die in Fig. 1 aufgetragenen Werte sind Mittelwerte aus Messungen an einer Reihe von Tantalkondensatoren mit  $100 \mu\text{F}$  Kapazität und einer Nennspannung von 30 V. Die Kurven *b* und *c* zeigen dabei die Spannung über die gleichen Kondensatoren, wenn sie gleichpolig durch eine Diode überbrückt sind, und zwar bei Kurve *b* durch eine Siliziumdiode und bei Kurve *c* durch eine Germaniumgolddrahtdiode. Fig. 2b und 2c zeigen die entsprechende Meßschaltung. Die Dioden selbst würden bei der Kondensatornennspannung und Raumtemperatur in Sperrrichtung einen Sperrstrom von etwa  $0,1 \mu\text{A}$  bei der Siliziumdiode 1N3604 und  $6 \mu\text{A}$  bei der Golddrahtgermaniumdiode OA5 aufweisen. Wie ersichtlich, sinkt die über dem Festelektrolytkondensator *C* abfallende Spannung auf etwa ein Fünftel bzw. ein Zehntel des Wertes ohne Überbrückungsdiode *D*, d. h. also, daß der Hauptanteil des Reststromes eines mit dem Kondensator *C* in Reihe geschalteten und in Sperrrichtung betriebenen zweiten Kondensators jetzt durch die Diode *D* aufgenommen wird.

Nun sind die verwendeten Dioden *D* keineswegs für den vorliegenden Einsatzfall optimal dimensioniert. Hierfür wäre es wünschenswert, eine Diode mit möglichst niedriger Knie Spannung, möglichst kleinem Durchlaßwiderstand und möglichst hohem Sperrwiderstand, also kleinem Sperrstrom einzusetzen. Während die Knie Spannung eine Materialkonstante des verwendeten Diodengrundmaterials ist, führt ein kleiner Durchlaßwiderstand zu großen Elektrodenflächen und damit zu großer Eigenkapazität der Diode. Ein kleiner Sperrstrom zu großen Sperrschichtdicken und damit durch die hiermit verbundenen Ladungsspeichereffekte zu einer Erniedrigung der oberen Grenzfrequenz. Beide Effekte würden sich im vorliegenden Falle kaum störend bemerkbar machen, führten jedoch dazu, daß für den vorliegenden Anwendungsfall zur Zeit keine idealen Dioden auf dem Markt erhältlich sind. Die obige Forderung für die Überbrückungsdioden *D* stellt also die Ideallösung für den vorliegenden Anwendungsfall dar. Es wird aber ein gewisser Schutzeffekt für den überbrückten Festelektrolytkondensator auch bereits erzielt, wenn bei der verwendeten Betriebsspannung und im Betriebstemperaturbereich trotz einer Erhöhung des Gesamtreststromes um den Sperrstrom der Diode eine merkliche Absenkung des durch den in Durchlaßrichtung betriebenen Festelektrolytkondensator fließenden Stromes erfolgt. Als solche Fälle sind die in Fig. 1 durch die Kurven *b* und *c* dargestellten zu betrachten.

Fig. 3 zeigt nun einen Anwendungsfall des erfin-

dungsgemäßen ungepolten Festelektrolytkondensators als Koppelkondensator einer Transistorverstärkerstufe. Zwei Festelektrolytkondensatoren C1 und C2 sind gegenpolig in Reihe geschaltet. Jeder dieser Kondensatoren C1 bzw. C2 ist gleichpolig durch eine Diode D1 bzw. D2 überbrückt. Die Transistorstufe sei Bestandteil einer heute üblichen Steckeinheit, wodurch ihr Eingang 3 je nach Einsatz mit dem Ausgang 1 einer Vorstufe oder über die Klemme 2 mit Masse verbunden werden kann. Am Punkt 4, dem Verbindungspunkt des erfindungsgemäßen ungepolten Festelektrolytkondensators mit der Basis des Transistors liege eine Spannung von +3 Volt gegen Masse. Bei Verbinden des Eingangs 3 mit dem Ausgang 1 liegt eine gegenüber dem Punkt 4 positive Spannung von 3 Volt am Kondensator an, während bei Verbinden des Eingangs 3 mit der Klemme 2 gegenüber dem Punkt 4 eine negative Spannung von 3 Volt anliegt. Der Kondensator wird also hierbei umgepolt.

Zum Schluß soll darauf hingewiesen werden, daß herstellungsmäßig Kondensator und überbrückende Diode zu einer baulichen Einheit vereinigt werden können.

#### Patentansprüche:

1. Schaltungsanordnung für einen ungepolten Festelektrolytkondensator, bestehend aus zwei gegenpolig in Reihe geschalteten gepolten Einzelkondensatoren, insbesondere Tantalkondensatoren, an dem außer der Signalwechselspannung eine wertmäßig höhere Gleichspannung liegt und bei dem zum Schutze der Sperrschicht des jeweils

für die Gleichspannung in Durchlaßrichtung gepolten Kondensators gegen den Restgleichstrom des in Sperrichtung gepolten Kondensators durch richtungsabhängigen Nebenschluß jeder der beiden Kondensatoren durch je eine Diode mit gleicher Durchlaßrichtung überbrückt ist, dadurch gekennzeichnet, daß die die Kondensatoren (C1, C2) überbrückenden Dioden (D1, D2) so gewählt werden, daß ihr Sperrstrom bei der anliegenden Betriebsspannung klein gegen den Reststrom der durch sie überbrückten Kondensatoren ist und daß in Durchlaßrichtung ihr Durchlaßwiderstand klein gegenüber dem Durchlaßwiderstand des durch sie überbrückten Kondensators ist, wobei maximal zulässige Sperrspannungen bzw. Durchlaßstrom größer als die anliegende Betriebsspannung bzw. auftretender Strom gewählt wird.

2. Ungepolter Festelektrolytkondensator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dioden (D1 und D2) so gewählt werden, daß in Sperrichtung durch ihren Sperrstrom bei der Betriebsspannung der Gesamtreststrom prozentual weniger erhöht wird, als in Durchlaßrichtung der durch den Einzelkondensator fließende Reststromteil gegenüber dem Gesamtreststrom erniedrigt wird.

3. Ungepolter Festelektrolytkondensator nach Anspruch 1 und/oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der bzw. die Festelektrolytkondensatoren (C1 bzw. C2 bzw. C1 und C2) und die überbrückenden Dioden (D1, D2) herstellungsmäßig zu einer baulichen Einheit vereinigt werden.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

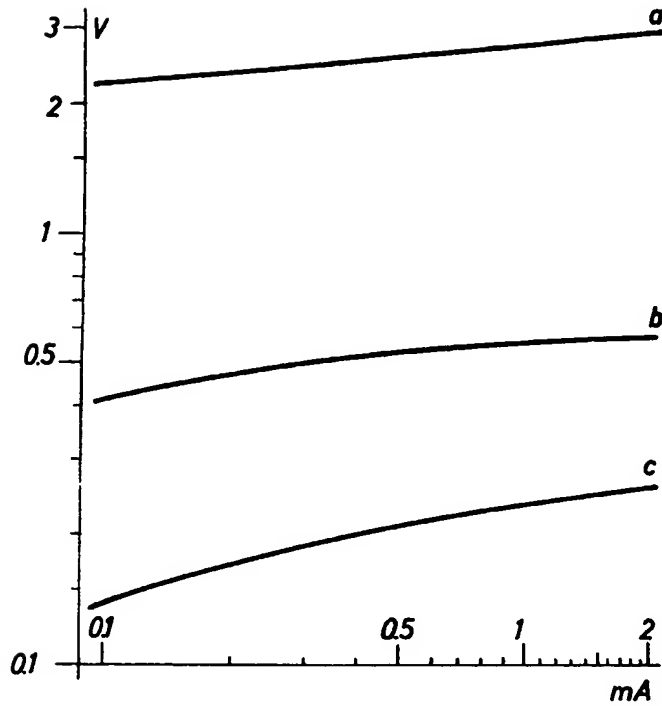


Fig.1

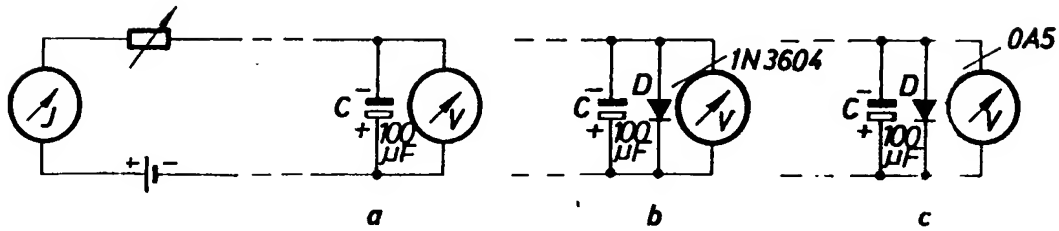


Fig.2

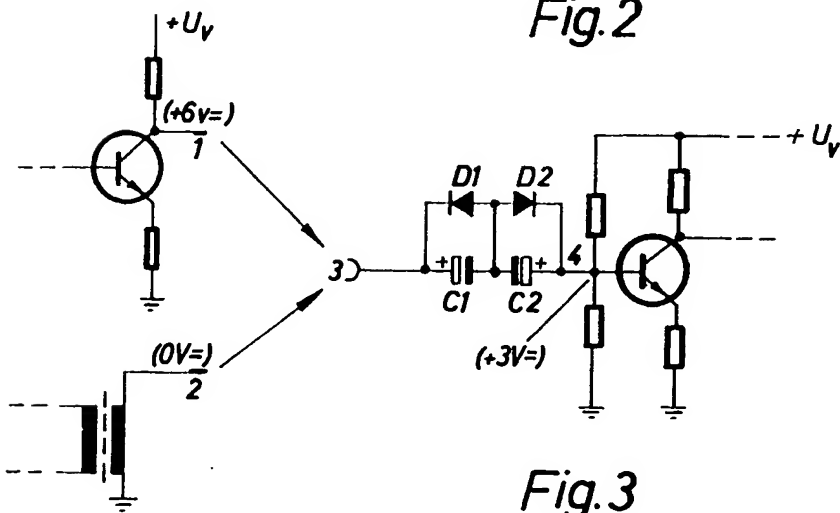


Fig.3

THIS PAGE BLANK (USPTO)